

66

949

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

66.081.3.094.2

На правах рукописи

ЯКУБЕНЯ Николай Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
СВОЙСТВ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ  
ДИМЕТИЛТЕРЕФТАЛАТА (ДМТ)

Специальность 05.17.08 - Процессы и аппараты химической технологии

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск - 1980

Работа выполнена на кафедре технической микробиологии  
Белорусского технологического института имени С.М.Кирова

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор  
Астахов В.А.

Научный консультант — кандидат технических наук,  
доцент Лукин В.Д.

Официальные оппоненты — доктор технических наук, профессор  
Лепилин В.Н.,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
Фатеев Г.А.

Безопасная организация — Научно-исследовательский институт  
промышленной и санитарной очистки  
газа (НИИОГАЗ)

Защита диссертации состоится 29 октября 1980 г. в 10 ча-  
сов на заседании специализированного Совета К-056.01.03 по  
присуждению ученой степени кандидата наук в Белорусском  
технологическом институте имени С.М.Кирова по адресу:  
г.Минск, ул.Свердлова, 13-а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорус-  
ского технологического института имени С.М.Кирова.

Автореферат разослан 26 сентября 1980 г.

Ученый секретарь Специализиро-  
ванного Совета, кандидат хими-  
ческих наук, старший научный  
сотрудник

Дзюба Е.Д.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Директивами XXV съезда КПСС предусмотрено ускоренное развитие химической и нефтехимической промышленности, разработка высокоэффективных технологических процессов, обеспечивающих комплексное и более полное использование сырья и энергетических ресурсов. Особенно бурно развивается за последнее время производство полиэфирных химических волокон, на основе ДМТ.

Развитие производства химических волокон в свою очередь приводит к увеличению газовых промышленных выбросов в атмосферу.

В связи с этим проблема защиты окружающей среды, снижение загазованности воздушного бассейна в последние годы становится исключительно актуальной как с экономической, так и с санитарной точки зрения.

5.858ap  
Одной из актуальных проблем является очистка газовых промышленных выбросов на производстве ДМТ, которые содержат в своем составе целый ряд токсичных веществ и представляют определенную опасность загрязнения воздушного бассейна.

Для очистки промышленных газовых выбросов в производстве ДМТ наиболее целесообразно применение адсорбционного метода, обеспечивающего практически полное извлечение компонентов и их вторичное использование в производстве.

Однако практика показала, что активные угли, применяемые в качестве адсорбентов, в процессе длительной работы на угле-адсорбционной установке теряют свою активность.

Процесс очистки отходящего воздуха в производстве ДМТ недостаточно изучен, не определены оптимальные параметры стадий адсорбции и десорбции, не исследованы и не изучены вопросы реактивации активных углей, применяемых для этих процессов. Анализ литературных данных по физико-химическим особенностям процессов, связанных с накоплением балластных соединений на активном угле и методов его реактивации выявил большой круг нерешенных вопросов.



Тема диссертационной работы посвящена актуальной проблеме - исследованию и разработке процесса реактивации активных углей, решение которой позволит значительно повысить эффективность работы углеадсорбционной установки и предотвратить загрязнение окружающей среды.

Работа выполнялась в соответствии с Координационным планом Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике, утвержденному от 5 ноября 1976г. № 390 (Приложение, бб) "Создание типовой автоматизированной системы управления унифицированным рядом углеадсорбционных установок", № гос.регистрации 76041670.

Цель работы заключалась в исследовании работы установки по очистке газовых промышленных выбросов в производстве ДМТ и разработке процесса реактивации активных углей, применяемых на этих установках.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

- исследовать работу углеадсорбционной установки для очистки газовых промышленных выбросов в производстве ДМТ;
- определить оптимальный технологический режим работы установки;
- исследовать физико-химические характеристики отработанного активного угля и определить причину снижения его адсорбционных свойств при длительной работе;
- провести исследования по реактивации отработанных активных углей;
- разработать новые эффективные методы реактивации активных углей, применяемых в производстве диметилтерефталата;
- разработать технологический регламент промышленного процесса реактивации активных углей в производстве ДМТ.

**Научная новизна.** Впервые проведено комплексное исследование углеадсорбционной установки, применяемой для очистки газовых промышленных выбросов в производстве ДМТ,

установлены причины снижения эффективности ее работы. Теоретически обоснован и экспериментально разработан новый способ реактивации углеродных адсорбентов, применяемых в производстве ДМТ, заключающийся в экстракционном извлечении твердых органических высококипящих веществ из поверхности адсорбента. Исследована кинетика реактивации, определены оптимальные параметры проведения процесса и составлено математическое описание.

Практическая ценность работы состоит в разработке эффективного метода реактивации углеродных адсорбентов от высококипящих органических веществ, что позволяет восстановить адсорбционные свойства отработанных активных углей, значительно продлить срок их эксплуатации, предотвратить загрязнение окружающей среды и утилизировать ценные промышленные продукты.

На основании выполненных исследований углеадсорбционной установки определен состав газовых выбросов поступающих на очистку, подобран оптимальный режим процессов адсорбции-десорбции, выданы рекомендации действующему производству по улучшению ее работы.

Выполненный комплекс исследований по термической и экстракционной реактивации отработанного активного угля позволил определить наиболее приемлемый способ регенерации, установить его оптимальные параметры, составить математическое описание процесса.

Положительные результаты проделанной работы позволяют рекомендовать данный процесс для повышения эффективности работы углеадсорбционных установок, применяемых для очистки газовых промышленных выбросов в производстве ДМТ и других аналогичных производствах.

#### Реализация результатов работы

Результаты исследований и разработок внедрены на Могилевском производственном объединении "Химволокно" им. В.И. Ленина. Годовой экономический эффект составил 165 тыс. рублей.

Полученные результаты диссертационной работы могут быть

использованы при разработке новых проектов на строительство производств ДМТ.

**А п р о б а ц и я р а б о т ы.** Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих семинарах и конференциях:

- на Научно-технической конференции "Защита окружающей среды от загрязнения выбросами предприятий химической и нефтеперерабатывающей промышленности республики" (г. Минск, 1975г.);

- на Всесоюзном совещании "Применение адсорбционных процессов для защиты окружающей среды от загрязнения" (г. Минск, 1978г.);

- на Научно-технической конференции Белорусского технологического института им. С.М. Кирова (г. Минск, 1979г.)

**П у б л и к а ц и и.** По теме диссертационной работы опубликовано пять научных статей и три тезиса докладов.

**О б ъ е м р а б о т ы.** Диссертация изложена на 130 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, общих выводов, библиографии, приложений, включает 28 рисунков, 15 таблиц и 15 страниц приложений.

Перечень использованной литературы включает 121 наименование работ отечественных и зарубежных авторов.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана характеристика современного состояния научно-технической проблемы очистки газовых промышленных выбросов на производстве химических волокон, поставлена цель работы, обоснована актуальность и новизна исследуемых задач, а также необходимость их решения.

В первой главе приведен анализ литературных данных по исследованию адсорбционных процессов, методов восстановления адсорбционной способности активных углей, применяемых для очистки газовых промышленных выбросов.

Дан анализ современного состояния адсорбционной техники, технологии и применения различных типов адсорбентов.

Отражено состояние газовых промышленных выбросов на заводе полиэфирного волокна и показаны пути их снижения.

Основными источниками газовых выбросов на заводе полиэфирного волокна является производство ДМТ. При совместном окислении п-ксилола и метилового эфира терефталевой кислоты кислородом воздуха образуется отходящая газовая смесь, которая проходит очистку на углеадсорбционной установке перед выбросом в атмосферу.

Количество образуемой газовой смеси составляет 3500 м<sup>3</sup> на тонну ДМТ или при мощности производства ДМТ 60 тыс. т в год общий газовый поток составляет 24000 м<sup>3</sup>/час.

Установка адсорбции состоит из трех адсорберов кольцевого типа, работающих в режиме адсорбции-десорбции. В качестве адсорбента применяется активированный уголь "Норит", получаемый из косточек кокосовых орехов.

В состав газовых выбросов входит ряд органических веществ образуемых при реакции окисления п-ксилола кислородом воздуха.

Основным компонентом газовых выбросов является п-ксилол с концентрацией 3,2 г/м<sup>3</sup>.

Практикой эксплуатации углеадсорбционной установки установлено, что степень очистки газовых выбросов со временем снижается.

Литературная проработка показала, что имеется незначительное количество данных по исследованию очистки газовых выбросов на производстве ДМТ и реактивации активных углей применяемых для данного процесса.

Предложенные отдельными авторами способы реактивации адсорбентов носят применительно частный характер для конкретных производств.

Указано, что отсутствие экспериментального материала по исследованию очистки газовых промышленных выбросов и реактивации адсорбента для данного производства требуют проведения соответствующих исследований и разработок.

Анализируя состояние адсорбции газовых промышленных выбросов следует отметить, что во многих процессах реактивация адсорбента является крайне необходимой технологической стадией, которая позволяет многократно использовать дефицитный адсорбент, значительно улучшить технико-экономические показатели очистки и всего производства, а также предотвратить загрязнение окружающей среды.

На основании анализа литературных данных были определены основные задачи исследований.

Во второй главе представлены теоретические исследования процесса извлечения твердых веществ из пор активного угля методом экстракции.

Показано, что если вещество находится в порах в виде твердого растворимого вещества, то экстрагирование связано с растворением или химическим взаимодействием и диффузией растворенного вещества из порового объема в окружающую жидкую среду.

Стадиям процесса экстрагирования соответствуют два кинетических коэффициента: коэффициент диффузии растворимого вещества в твердом теле и коэффициент массоотдачи от поверхности твердого тела к экстракционной жидкости.

Коэффициент диффузии экстрагируемого вещества в твердом теле зависит от строения и физических свойств этого тела, его физических свойств, температуры, концентрации раствора и

пористой структуры адсорбента. Следует также учесть, что перенос вещества в жидкой среде происходит путем молекулярной диффузии.

Экспериментально установлено, что коэффициент диффузии экстрагируемого вещества из пористых тел может быть определен из уравнения

$$D = \alpha \cdot D' \quad (1)$$

где  $D'$  - коэффициент молекулярной диффузии для данного вещества;

$\alpha$  - коэффициент диффузионного сопротивления.

Во всех процессах связанных с извлечением растворимых веществ экстрагент и экстрагируемый материал движутся друг относительно друга.

Перенос массы экстрагируемых частиц происходит не только за счет диффузии, но и за счет переноса самой среды.

Для элементарного объема уравнение материального баланса по извлекаемому веществу имеет вид

$$\varepsilon S \cdot dh \cdot \frac{\partial c}{\partial t} = L \cdot c + (1 - \varepsilon) S \cdot dh \cdot \frac{\partial q}{\partial t} - L(c + dc) \quad (2)$$

где  $S \cdot dh$  - элементарный объем;

$L$  - объемный расход экстрагента;

$c$  - среднее значение концентрации;

$\varepsilon$  - свободный объем слоя;

$q$  - общее количество извлеченных веществ за время  $\tau$ .

После преобразования уравнения (2) получим уравнение материального баланса в дифференциальной форме.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{1}{\varepsilon} \cdot \omega \cdot \frac{\partial c}{\partial h} = \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{\partial q}{\partial t} \quad (3)$$

Это уравнение является также уравнением неразрывности для рассматриваемого процесса.

Количество вещества в элементарном объеме твердой фазы за время  $d\tau$  изменяется при переносе за счет поперечной диффузии на величину

$$- D_T \left( \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial z^2} \right) \cdot (1 - \varepsilon) \cdot dV_p \cdot d\tau \quad (4)$$

Тогда уравнение массопроводности из условия материального баланса по твердой фазе может быть представлено в виде

$$(1 - \varepsilon) \cdot dV_p \cdot \frac{\partial q}{\partial \tau} \cdot d\tau = D_T \left( \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial z^2} \right) \cdot (1 - \varepsilon) \cdot dV_p \cdot d\tau$$

Уравнение материального баланса по элементарному веществу для жидкой фазы на границе раздела фаз имеет вид

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} + \omega \cdot \frac{\partial c}{\partial x} - D_{ж} \cdot \left( \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) = \beta_{ж} \cdot (C_{гп} - C) \quad (6)$$

где,  $\omega$  - скорость потока жидкости;

$C_{гп}$  - концентрация вещества на границе раздела фаз - по жидкой фазе;

$\beta_{ж}$  - коэффициент массоотдачи по жидкой фазе.

Условие переноса масс на границе раздела фаз по твердой фазе описывается уравнением

$$- D_T \left( \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial q}{\partial z} \right) = \beta_T \cdot (q - q_{гп}) \quad (7)$$

где,  $q_{гп}$  - содержание извлекаемых веществ в единице объема твердой фазы на границе раздела фаз

$\beta_T$  - коэффициент массоотдачи по твердой фазе.

В третьей главе представлены основные результаты по экспериментальному исследованию процессов адсорбции и десорбции на установке очистки газовых выбросов в производстве ДМТ в реактивации активного угля, примененного для этих процессов.

Технология получения ДМГ состоит из совместного окисления п-ксилола и метилового эфира п-толуиловой кислоты кислородом воздуха.

Отходящая из реакторов окисления газо-воздушная смесь проходит очистку на углеадсорбционной установке, где рекуперированные органические вещества улавливаются и повторно используются в производстве.

Исследованием углеадсорбционной установки при ее эксплуатации в течение нескольких лет установлено резкое снижение адсорбционной способности угля по п-ксилолу в условиях многоциклового работы.

Был исследован состав отходящей из реакторов окисления газо-воздушной смеси и отработанный уголь. Исследование состава газо-воздушной смеси выполнена газо-хроматографическим методом. Результаты хроматографических исследований показали, что в состав газо-воздушной смеси входят такие вещества как метанол, формальдегид, метилацетат, бензол, п-ксилол, а также в небольшом количестве такие высококипящие вещества как ДМГ, терефталевая кислота, п-толуильный альдегид, п-толуильная кислота, метиловый эфир п-толуиловой кислоты, бензойная кислота, метилбензоат. Следует также отметить, что такие вещества как ДМГ и терефталевая кислота на угле прочно сорбируются, образуя так называемый оксидат, который с трудом растворяется в органических растворителях и водяным паром при обычных условиях практически не десорбируется.

Установлено, что в результате этого микропоры угля забиваются органическими соединениями, которые не удаляются по существующей технологии регенерации, и уголь теряет свою активность.

Оценка поглотительных свойств угля проводится с помощью экспериментальных данных, обработанных по уравнению изотермии адсорбции теории объемного заполнения микропор

$$a = a_0 \exp \left[ - \left( \frac{A}{E} \right)^n \right], \quad (8)$$

где  $A_0$  - предельная величина адсорбции (масс%), соответствующая давлению  $P_s$  насыщенного пара  $CO_2$ ;

$A = RT \ln(P_s/P)$  - мольная работа сжатия адсорбируемого вещества от давления  $P$  до  $P_s$ ;

$E$  - характеристическая энергия;

$n$  - ранг распределения

Практика эксплуатации адсорбционной установки и выполненные исследования позволяют сделать вывод, что при длительной работе установки происходит "отравление" сорбционного пространства углеродных микропористых активных углей, в связи с чем возникает необходимость разработки новых методов регенерации активного угля, обеспечивающих практически полное восстановление его адсорбционной активности.

#### Термическая активация угля.

С целью определения возможной температуры регенерации угля с пробы отработанного угля была снята дифференциальная термограмма десорбции. Исследования полученных кривых десорбции методом дифференциальной термобарограмметрии показали, что в отработанном угле произошло накопление высокомолекулярных веществ, температура кипения которых намного выше, чем у п-кишлота.

Установлено, что регенерация угля перегретым паром, имеющим температуру до  $400^\circ C$  позволяет десорбировать незначительное количество веществ (около 4 масс.%).

Возможным путем удаления высокомолекулярных соединений из активного угля является применение метода термовакуумной десорбции.

Эти исследования были проведены на вакуумной установке с весами Мак-Бэна при температурах десорбции  $100$ ,  $300$  и  $400^\circ C$ , при вакууме  $10^{-2}$  мм рт.ст. и времени десорбции 3 часа.

Количество десорбируемых веществ при этом составило 5,35, 21,4 и 28,2 масс.% соответственно.

Обработка всех экспериментальных данных показала, что при температуре десорбции  $100^{\circ}\text{C}$  количество удаляемых из угля веществ незначительно, а объем микропор, оцененный по плотности адсорбированной фазы  $\text{CO}_2$  составляет всего  $0,027 \text{ см}^3/\text{г}$ , что по сравнению с исходным чистым углем "Норит" оставшийся объем микропор равен 14%, т.е. в 7 раз меньше.

При десорбции отработанного угля, проводимой при  $t = 500^{\circ}\text{C}$ , объем свободных микропор составил  $0,093 \text{ см}^3/\text{г}$ ; а при  $t = 400^{\circ}\text{C}$  наблюдается дальнейшее увеличение объема микропор до  $W_0 = 0,126 \text{ см}^3/\text{г}$ .

Анализируя количество десорбируемых веществ при термовакуумной десорбции и расчетный объем микропор при этом можно заметить, что большая часть десорбируемого вещества находится не в микропорах, а на поверхности переходных пор или макропор.

Установлено, что термовакуумной регенерацией возможно восстановление поглотительной способности активного угля с повышением температуры десорбции.

С целью определения возможности полной регенерации угля была проведена его глубокая термовакуумная регенерация при  $t = 600^{\circ}\text{C}$  в течение 5 часов.

В результате обработки экспериментальных данных было найдено, что при температуре десорбции  $600^{\circ}\text{C}$  объем микропор возрастает до  $W_0 = 0,18 \text{ см}^3/\text{г}$  и достигается практически полное восстановление адсорбционных свойств угля "Норит".

Однако проведение процесса термовакуумной десорбции в производственных условиях является нереальным, поскольку создание необходимого вакуума в промышленных адсорберах представляет определенные трудности. Отметим, также, что при этом резко возрастает время проведения десорбционной стадии.

### Экстракционная реактивация угля с помощью органических растворителей

Исследования по экстракционной регенерации отработанного активного угля проведены в лабораторных условиях с применением различных органических растворителей: ацетона, спирто-бензольной смеси, метанола, этанола, сернистого эфира и этилацетата. Исследования проводились при температуре кипения растворителей в течение 7 часов. При охлаждении упавших экстрактов из них в небольших количествах выпадает осадок.

Газохроматографический анализ экстрактов показал, что в них содержатся в основном легкокипящие вещества, такие как бензол, толуол, этилбензол, п-ксилол.

Следует отметить, что экстракция этанолом способствует выделению из пор более значительного количества веществ, чем при обработке другими органическими растворителями, что связано с лучшей растворимостью последних в горячем этаноле.

Исследования показали, что экстракция отработанного угля органическими растворителями не дала ожидаемого результата, в связи с чем экстракционный метод реактивации угля с помощью органических растворителей не может быть рекомендован для данного процесса.

### Экстракционная реактивация угля комбинированным методом

Исследования проводились на специально изготовленной установке, состоящей из колонны ( $d=0,05$  м,  $h=0,9$  м), снабженной обратным холодильником, устройством для нагрева раствора и отбора проб на анализ.

В колонну загружались отработанный активный уголь в количестве до 0,5 кг и раствор щелочи (KOH) концентрации 5,10 и 15 масс % в количестве 1 л.

Для исследования кинетики реактивации угля и нахождения оптимального режима процесса испытания проводились при различных температурах (80, 60, 70, 90 и 102°C) с отбором проб раствора через каждые 30 минут в течение 3 часов.

Исследованиями установлено, что обработка угля 5 масс % щелочи не позволяет восстановить его адсорбционные свойства, а обработка 15 масс % показала, что происходит деструкция угля.

После 3 часов обработки угля 10 масс % раствором щелочи, последний сливался, уголь подвергался промывке водой до нейтральной реакции, сушке горячим воздухом.

Регенерированный уголь исследовался на специальной вакуумной установке для определения адсорбционной способности с помощью весов Мак-Бена.

Анализ раствора щелочи позволил определить кинетику изменения концентрации щелочного раствора при обработке угля "Норит" при различных температурах во времени (рис.1).

Полученные кривые показывают, что самая низкая концентрация щелочи наблюдается при температуре кипения раствора (102°C)

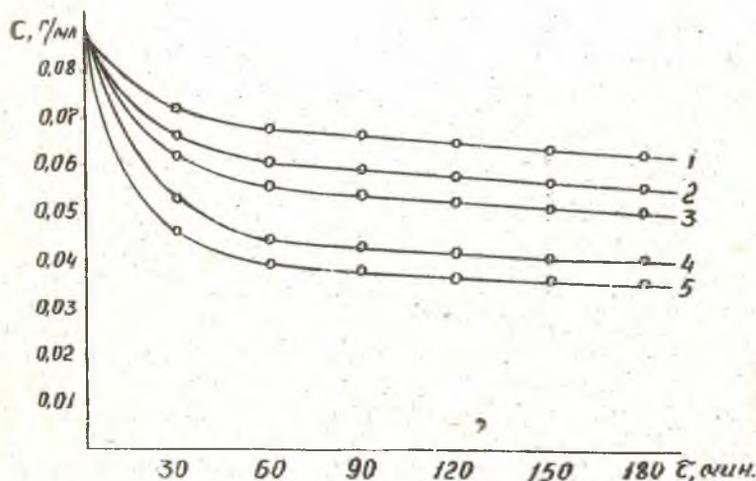


Рис.1. Изменение концентрации щелочного раствора при обработке отработавшего угля "Норит".  
Температура (°C): 1-30; 2-50; 3-70; 4-90; 5-102.

Обнаружено также, что в начальный период в течение 30 мин концентрация щелочи резко снижается, а через 3 часа после начала процесса она практически не меняется, так как извлечение органических веществ из угля при данной температуре прекращается.

Одновременно с этим происходит изменение интенсивности окрашивания раствора от светло-желтого до темно-бурого цвета что также отражает ход процесса извлечения органических веществ из угля.

Кривые носят экспоненциальный характер и могут быть обработаны математически по одночленному распределению Пуассона

$$C - C_k = K \exp\left[-\frac{C}{C_{sp}}\right] \quad (9)$$

где,  $C$  и  $C_k$  - текущая и конечная концентрация щелочного раствора, мг/л;

$C_{sp}$  и  $K$  - константы;

$\tau$  - время проведения опыта, мин

Полученные данные показывают, что кинетика процесса реактивации проходит с большой скоростью при температуре раствора, близкой к его температуре кипения.

При обработке щелочного шлама из колоаны избытком соляной кислоты выпадают в осадок высококипящие соединения. Определено количество этого осадка и установлено, что с увеличением температуры его количество увеличивается.

Для получения более полной информации об адсорбционных свойствах и пористой структуре угля, обработанного различными способами, были выполнены адсорбционные исследования пробо регенерированного угля.

На основании этих исследований были построены изотермы адсорбции  $CO_2$  углем "Норит".

Обработка равновесных данных по уравнению изотермы адсорбции теории объемного заполнения микропор позволила судить об изменениях в пористой структуре активного угля.

Адсорбционные характеристики регенерированного различными способами угля "Норит" показаны в таблице I.

В результате проведенных исследований регенерации активного угля установлено, что обработка его раствором щелочи при температуре кипения ( $102^{\circ}\text{C}$ ) с последующей промывкой водой и сушкой горячим воздухом позволяют восстановить его адсорбционные свойства, которые имеет исходный свежий уголь ( $W_0 = 0,19 \text{ см}^3/\text{г}$ ) и данный способ может быть рекомендован для промышленного использования.

Четвертая глава посвящена комплексному исследованию процесса реактивации активного угля на опытно-промышленной установке в условиях действующего производства.

На основании выполненных исследований автором разработана технология и установка для реактивации активного угля (рис.2).

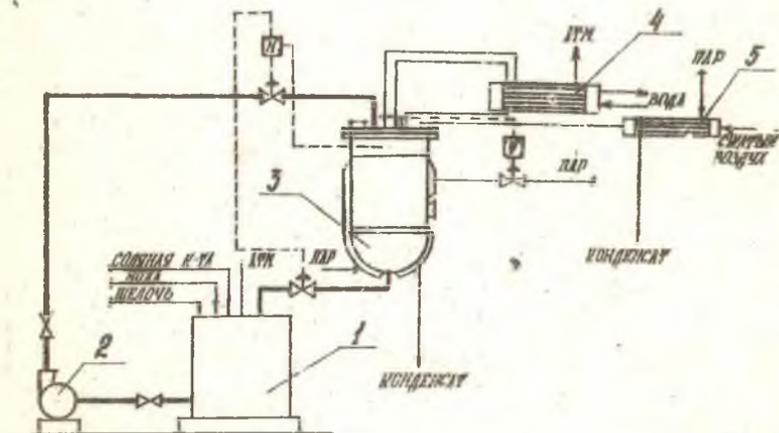


Рис.2. Технологическая схема опытно-промышленной установки для регенерации активного угля.



Установка состоит из реактиватора (3), емкости для раствора щелочи (1); конденсатора (4), теплообменника (5) и другого вспомогательного оборудования.

В качестве растворителя применен 10% раствор щелочи (KOH).

Обработка отработанного угля раствором щелочи осуществляется непрерывно путем ее циркуляции через слой угля при температуре  $102^{\circ}$  в течение 3 часов, с последующим удалением щелочи из реактиватора, промывкой угля водой и просушкой горячим воздухом.

Исследования регенерированного угля показали, что его адсорбционная способность восстанавливается практически на 92% от исходного, что является приемлемым для производства и позволяет многократно использовать дефицитный адсорбент в процессе очистки газовых выбросов на производстве ДМТ.

В процессе исследований на опытно-промышленной установке были полностью подтверждены полученные ранее результаты в лабораторных условиях.

Результаты промышленных испытаний подтверждаются актом внедрения данного процесса на производстве ДМТ Могилевского производственного объединения "Химволокно" им. В.И. Ленина.

Экономический эффект от внедрения составляет 165 тыс. рублей в год.

#### В ы в о д н ы:

1. Проведен анализ исследований работы установки очистки газовых промышленных выбросов в производстве ДМТ, что позволило определить пути ее совершенствования.

2. На основании проведенных исследований установлено, что в процессе длительной работы углеадсорбционной установки наблюдается снижение адсорбционной активности активированного угля, за счет закупорки его пор высококипящими органическими веществами.

3. Проведены исследования по термической и экстракционной реактивации активных углей, применяемых для очистки газовых выбросов в производстве ДМТ.

4. Установлено, что при термической регенерации отработанного угля при температуре до  $400^{\circ}\text{C}$  не достигается полного восстановления адсорбционных свойств угля.

5. Проведено экстрагирование отработанного угля различными органическими растворителями (метанолом, этанолом, спирто-бензольной смесью, ацетоном, эфиром) и установлено, что при этом происходит лишь частичное восстановление адсорбционной способности угля за счет удаления из его пор низкокипящих органических веществ.

6. Установлено, что обработка отработанного активного угля 10% раствором щелочи (KOH) при температуре кипения с последующей промывкой водой и сушкой горячим воздухом позволяет восстановить его адсорбционные свойства.

7. На основании исследований определен оптимальный технологический режим реактивации отработанного активного угля, разработана технологическая схема и подобрано соответствующее оборудование для промышленной установки.

8. Методом математического описания процесса экстракционной реактивации активных углей получено уравнение материального баланса по элементарному веществу на границе раздела фаз.

9. Разработан технологический регламент процесса реактивации углей. Успешно проведены опытно-промышленные испытания комбинированного метода регенерации активного угля на Могилевском производственном объединении "Химволокно" им. В.И. Ленина.

10. Разработанный новый способ реактивации активных углей имеет большое практическое значение, его внедрение на действующем производстве обеспечивает нормальную работу предприятия, предотвращает загрязнение окружающей среды вредными органическими веществами такими, как п-ксилол, метанол, бензол,

метилацетат и др., а возврат рекуперлируемых веществ и их вторичное использование позволяет улучшить технико-экономические показатели производства.

Экономический эффект от внедрения данного процесса только на Могилевском производственном объединении "Химволокно" им. В.И.Ленина составляет 165 тыс.руб. в год.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

1. Н.А.Якубеня, В.Д.Лукин, В.А.Астахов, Р.Я.Семячко. "К вопросу регенерации активного угля от органических веществ с высокой температурой кипения", ХПК №4, 1978, с 904-907.

2. Н.А.Якубеня, В.Д.Лукин, В.А.Астахов, Р.Я.Семячко. "Исследование процесса регенерации активного угля в процессах очистки газовых выбросов в производстве синтетических волокон", ХПК №3, 1978, с 1779-1783.

3. Н.А.Якубеня, В.Д.Лукин, В.А.Астахов, Р.Я.Семячко, Л.В.Косникова, М.И.Залого. "Исследование реактивации активного угля от высокотемпературных органических веществ", ХТЧ, № II, 1979, с.2539-2544.

4. Н.А.Якубеня, В.Д.Лукин, Р.Я.Семячко, А.А.Челноков, "Исследование работы промышленной установки очистки газовых выбросов в производстве диметилтерефталата (ДМТ)". Тезисы докладов всесоюзного совещания по применению адсорбционных процессов для защиты окружающей среды от загрязнения. Минск, 19-22 сентября 1978, с.54-56.

5. Н.А.Якубеня, Л.В.Косникова, Р.Я.Семячко. "Исследование реактивации отработанного активного угля". Тезисы докладов всесоюзного совещания по применению адсорбционных процессов для защиты окружающей среды от загрязнения, Минск, 19-22 сентября 1978 г., с.37-38.